

## 순음청력검사와 청성안정유발반응의 청력 및 주파수에 따른 상관관계 분석

울산대학교 의과대학 서울아산병원 이비인후과학교실,<sup>1</sup> 분당제생병원 이비인후과학교실<sup>2</sup>

이효숙<sup>1</sup> · 안중호<sup>1</sup> · 김영진<sup>2</sup> · 이광선<sup>1</sup> · 윤태현<sup>1</sup> · 정종우<sup>1</sup>

### The Correlation between Pure Tone Audiometry and Auditory Steady State Response according to the Hearing Level and Frequency

Hyo-Sook Lee, MA<sup>1</sup>, Joong Ho Ahn, MD<sup>1</sup>, Young-Jin Kim, MD<sup>2</sup>,  
Kwang-Sun Lee, MD<sup>1</sup>, Tae Hyun Yoon, MD<sup>1</sup> and Jong Woo Chung, MD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Otolaryngology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul; and

<sup>2</sup>Pundang Jesaeng General Hospital, Seongnam, Korea

#### ABSTRACT

**Background and Objectives** : The aim of this study is to assess the correlation between hearing thresholds in pure tone audiometry (PTA) and auditory steady state response (ASSR) according to the hearing level and frequency. **Subjects and Method** : A total of 105 subjects (178 ears, 64 male and 41 female) were enrolled in this study. None of the subjects had middle ear diseases and PTA and ASSR were performed on the same day for each subject. Ninety-eight subjects (168 ears) were finally enrolled in the analysis of this study. **Results** : The correlation coefficient (r) of mean hearing threshold between PTA and ASSR was 0.96 and the mean hearing threshold of PTA can be calculated from the mean hearing threshold of ASSR ( $PTA=1.05 \times ASSR-7.6$ ). When analyzed according to frequency, the correlation coefficients were 0.94, 0.95, 0.94, and 0.92 for 500, 1,000, 2,000, and 4,000 Hz panels, respectively. **Conclusion** : This study showed that ASSR and PTA had very close correlation and ASSR could be used to estimate hearing thresholds with reliable accuracy in various cases where subjective hearing measurement including PTA could not be performed. (Korean J Otolaryngol 2006;49:593-7)

**KEY WORDS** : Pure tone audiometry · Auditory brainstem response · Auditory threshold · Correlation.

#### 서 론

유소아 난청의 경우 출생 후 6개월 이내에 청각적 중재가 이루어질 때 청력 부족(auditory deprivation)이 감소되기 때문에<sup>1)</sup> 인공와우 이식술의 대상 연령이 점점 낮아지고 있는 추세이다. 그러므로 조기에 정확하고 객관적인 청각 정보에 대한 필요성이 더욱 강조되게 되었다. 또한 출생 후 유소아의 청력 손실 정도와 그 유형에 대한 정보가 인공와우나 보청기 처방 및 조절 등에 필요하다는 연구<sup>2)</sup>에서도 조기 발견 및 치료의 중요성을 알 수 있다. 그러나 유소아의 경우 기존의 순음청력검사를 통해서도 신뢰할 만한

청각 정보를 얻기 어렵고 시각 강화 청력검사, 유희 청력검사를 통하여 신뢰도 있는 청각 정보를 얻어내기가 어려운 특성이 있으며 특히 고도 난청이 있는 유소아의 경우에는 검사가 불가능한 경우가 있다.

행동관찰 청력검사의 시행이 불가능한 유소아의 경우에, 순음 청력도를 얻기 위한 객관적 방법으로는 청성뇌간유발반응(auditory brainstem response, ABR)검사가 있는데,<sup>3-6)</sup> 청성뇌간유발반응검사는 기저막 전체를 따라 와우를 자극하는 빠른 속도의 순간적인 자극음으로 얻어지는 반응이기 때문에 반응에 참여하는 주파수 영역을 결정하기 어려워 주파수의 특이성이 적고, 클릭 자극에 의한 경우 주로 순음청력검사의 1~4 kHz 영역의 평균 역치와 연관되므로 저주파 영역의 역치 측정에 제한점이 있다.<sup>7)</sup> 또한 청성뇌간유발반응검사 자체의 한계 측정치 또한 90 dBHL로 고도 이상의 난청을 판단하기에 적합하지 않은 단점이 있다.<sup>8)</sup>

논문접수일 : 2005년 10월 7일 / 심사완료일 : 2006년 2월 22일

교신저자 : 정종우, 138-736 서울 송파구 풍납2동 388-1

울산대학교 의과대학 서울아산병원 이비인후과학교실

전화 : (02) 3010-3710 · 전송 : (02) 489-2773

E-mail : jwchung@amc.seoul.kr

저주파수의 청각 정보 및 주파수 특이적인 청력역치를 구하기 위하여 여러 가지 청력검사들이 소개되었으나 여러 가지 단점들로 널리 사용되지 못하는 실정이며<sup>9-11)</sup> 비교적 최근에 소개된 청성안정유발반응(auditory steady state response, ASSR)검사는 변조된 순음에 의해 유발된 반응이므로 자극이 좀 더 주파수 특이적이며 반응의 자동 측정이 가능하고 청성뇌간유발반응검사보다 더 넓은 청력검사 역치범위를 지니는 등의 이점들로 인해 청력을 효과적으로 예측하는 객관적 방법으로 평가되었다.<sup>11)</sup>

초기 청성안정유발반응검사의 경우 40 Hz를 사용하여 역치 추정이 가능하였으나<sup>12)</sup> 이 검사의 경우 대상자의 수면 상태나 각성 상태에 영향을 받으며<sup>13)14)</sup> 영아에서 신뢰도 있는 결과를 얻기 어렵고,<sup>15)</sup> 몇 개의 자극이 동시에 제시될 때 반응의 진폭이 감소되는 결점이 있다.<sup>16)</sup> 그러나 최근에는 70 Hz 이상의 변조 주파수를 사용하여 수면에 영향이 적은 반응을 얻어낼 수 있었고<sup>14)</sup> 반응 크기의 감소없이 각 주파수에서 다발성 반응을 동시에 얻을 수 있게 되었다.<sup>17)</sup> 또한 더 높은 변조 주파수인 80 Hz의 경우 청력 손실이 있는 대상자들의 객관적 청각 진단 도구로서 평가되어지고 있다.<sup>18)19)</sup> 청성안정유발반응검사는 청성뇌간유발반응검사에 비해 더 높은 강도의 자극음을 사용하고 지속적이면서 규칙적인 음의 특성상 주파수 특이적인 반응을 얻을 수 있다.<sup>19)</sup> 그러므로 주파수별 청력역치를 파악할 수 있게 되었고 또한 기존의 청성뇌간유발반응검사의 장비 한계치로 인해 측정할 수 없었던 90 dBHL 이상의 고심도 난청자까지 확대된 청각 정보를 기대할 수 있게 되었다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 청성뇌간유발반응검사만으로 자세한 청각 정보를 알 수 없는 유소아 및 행동관찰 청력검사에 협조가 되지 않는 대상자 등의 주파수별 청각 정보를 판단하는 진단적 도구로서 청성안정유발반응검사의 유용성 여부를 파악하기 위해 순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 청력에 따른 상관관계 및 주파수별 평균 청력역치의 상관관계를 비교하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

2004년 2월부터 2004년 12월까지 서울아산병원에서 귀의 이상증상이 의심되어 내원한 환자들 및 정상 청력을 가지고 있는 2, 30대의 젊은 성인을 대상으로 실시하였다. 이들은 모두 이경검사에서 정상 고막 소견 및 정상 고막운동 소견을 보였으며 전체 105명 중 남자 64명, 여자는 41명이었다. 모든 대상자들에게 모두 순음청력검사와 청성안

정유발반응검사를 시행하였으며 이들 중 검사장비 상의 한계로 500~4,000 Hz까지의 주파수 모두에서 청력역치를 구하지 못한 7명(8귀)을 제외한 98명(168귀)을 대상으로 청력역치를 분석하였다. 피검자의 평균 나이는 31.2±21.2세였으며 5세부터 74세까지 분포하였다.

### 방 법

보다 정확한 비교를 위하여 모든 피검자들은 청성안정유발반응검사가 이루어지는 시점에서 순음청력검사를 재확인한 후 청성안정유발반응검사를 시행하였다. 피검자는 최대한 안정을 취하도록 한 후 침대에 누운 채 검사를 시행하였고 유소아의 경우 chloral hydrate(50 mg/kg)를 먹여 수면을 유도한 후 검사를 시행하였다.

### 자극 및 기록

순음청력검사 장비는 ORBITER922(Madsen®, Denmark)와 GSI61(GSI®, USA)을 사용하여 시행하였고, 단위는 5 dB간격, 역치 측정 방법은 10 dB 하강, 5 dB 상승하여 역치를 확인하였다.

청성안정유발반응검사 장비는 MASTER(Bio-logic, Inc., USA)를 사용하였고 transducer로 TDH39 헤드폰과 ER-3A tube phones with foam earplugs를 사용하여 시행하였다.

청성안정유발반응검사의 변조 주파수는 자극음이 90 dB 이하인 경우 복합 검사로 8개의 주파수까지 동시에 시행하여 82, 84, 87, 89, 91, 94, 96, 99 Hz를 각각 사용하였고, 90 dB 이상인 경우 단일 주파수 검사로 각 67, 69 Hz를 사용하였다. Carrier 주파수는 0.5, 1, 2, 4 kHz, sweep 수는 16 sweep을 16 epoch 이상 시행하여 최소 256회 이상에서 측정하였고 5 dB 단위, AM+FM방식, FM은 20%, AM은 100% depth로 시행하였다. 순음청력검사와 같이 10 dB 하강, 5 dB 상승방법으로 청력역치를 측정하였고 다발성 동시 자극이 가능한 경우 초기 자극은 60 dBHL에서 시작하였다. F-ratio는 p<0.5를 반응이 있는 것으로 간주했으며 거부 레벨은 40~80 μV까지 허용하였다.

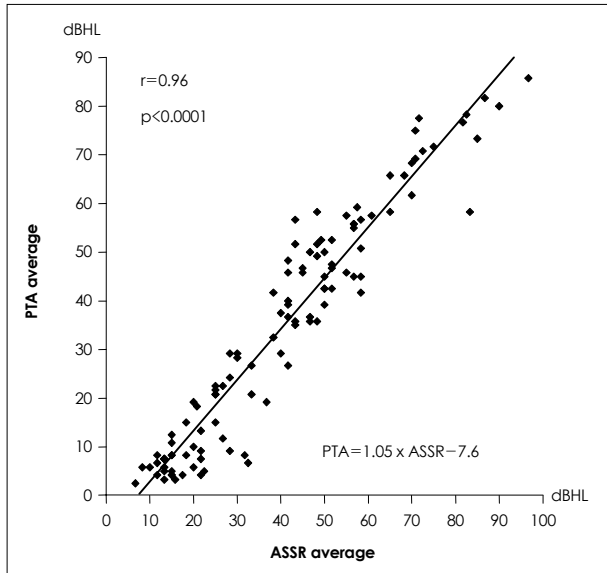
양측 귀의 검사 소요 시간은 대략 40~60분 가량이며 네 개의 주파수에서 시행 완료된 결과만을 채택하였다. 최대 음자극은 주파수 별로 0.5 KHz는 110 dB를 1 KHz와 2 KHz, 4 KHz는 115 dB를 사용하였고 최소 음자극은 30 dB까지 사용하여 측정하였다.

### 결과의 분석

평균 청력역치는 6분법을 이용하여 계산했으며 순음청력

검사와 청성안정유발반응검사들 중 어느 한 주파수에서라도 청력역치를 구할 수 없는 경우는 평균 청력역치의 상관관계 분석에서 제외하였다. 전체 피검자의 순음청력검사와

청성안정유발반응검사의 평균 청력역치의 상관관계를 분석하였고 각각의 주파수 별로 순음청력검사와 청성안정유발반응검사 모두에서 청력역치를 구할 수 있었던 경우를 이용하여 각 주파수별 상관관계를 분석하였다.



**Fig. 1.** The relationship between the mean hearing thresholds of pure tone audiometry (PTA) and auditory steady state response (ASSR) in dBHL (n=111). The correlation coefficient (r) is 0.96 and the mean hearing threshold of PTA can be calculated from the mean hearing threshold of ASSR ( $PTA=1.05 \times ASSR-7.6$ ).

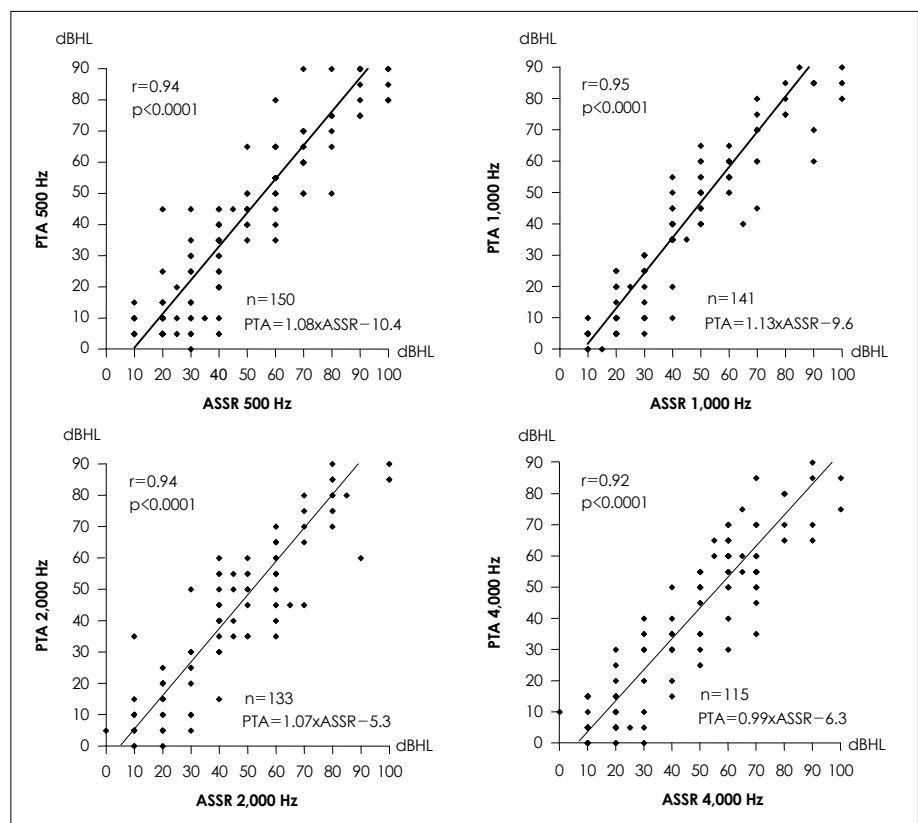
**통계 방법**

모든 청력역치 및 평균청력도의 결과 분석은 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 단순회귀 분석하였다.

**결 과**

**순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 평균 청력역치의 비교**

순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 모든 주파수에서 청력역치를 구할 수 있었던 73명(111귀)을 대상으로 6분법으로 구한 평균 청력역치의 상관계수는 0.96로 청성안정유발반응검사의 평균 청력역치가 순음청력검사의 결과를 잘 반영하는 것으로 나타났다( $p<0.0001$ ) (Fig. 1). 또한 본 결과를 바탕으로 순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 상관관계 방정식은  $PTA=1.05 \times ASSR-7.6$ 으로 정의되었다.



**Fig. 2.** The relationship between pure tone audiometry (PTA) and auditory steady state response (ASSR) in dBHL according to frequencies. The correlation coefficient (r) are 0.94, 0.95, 0.94, and 0.92 for 500, 1,000, 2,000, and 4,000 Hz panels respectively. The regression equations are given in the right lower of each panel.

순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 주파수별 청력역치의 비교

순음청력검사와 청성안정유발반응검사에서 얻어진 청력역치를 각각 500, 1,000, 2,000, 4,000 Hz의 주파수 별로 분류하여 분석한 결과 상관계수는 각각 0.94, 0.95, 0.94, 0.92로 전반적으로 비교적 높은 상관계수를 보였으며, 특히 1,000 Hz의 주파수에서 높은 상관계수를 보였다(Fig. 2). 또한 각 주파수별로 산출된 두 검사간의 상관관계 방정식은 각각  $PTA=1.08 \times ASSR-10.4$ ,  $PTA=1.13 \times ASSR-9.6$ ,  $PTA=1.07 \times ASSR-5.3$ ,  $PTA=0.99 \times ASSR-6.3$ 으로 정의되었다.

순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 난청의 정도별 청력역치의 비교

순음청력검사 결과를 기준으로 평균 청력이 25 dB 이하를 정상 청력, 26~55 dB를 중등도 난청, 56 dB 이상을 고도 난청으로 분류한 경우 중등도 및 고도 난청의 상관계수가 각각 0.72, 0.81인데 반하여 정상 청력의 경우 0.62의 값을 보였다.

본 연구에서 제외된 순음청력검사와 청성안정유발반응검사 결과의 분석

본 연구에서는 모두 7명(8귀)의 피검자에서 고도난청으로 인한 검사장비의 한계로 순음청력검사와 청성안정유발반응검사 모두에서 반응이 나타나지 않았다. 또한 168귀의 결과 중 순음청력검사 혹은 청성안정유발반응검사 중 어느 한 검사에서 청력역치를 구할 수 없었던 경우는 주파수 별

로 500 Hz에서 18귀(10.7%), 1,000 Hz에서 27귀(16.1%), 2,000 Hz에서 35귀(20.8%), 그리고 4,000 Hz에서 53귀(31.6%)로 고음으로 갈수록 두 검사 간의 불일치율이 높아짐을 알 수 있었다(Fig. 3).

고찰

청성안정유발반응검사는 진폭 혹은 주파수가 주기적으로 변조된 순음을 자극음으로 이용하는 청각유발반응으로 수면에 영향을 받지 않으며, 자동화된 역치 측정 방식으로 비숙련가도 검사하기가 용이한 장점이 있어서 영유아의 객관적인 청력검사 도구로 점차 활용도가 증가하고 있다. 또한 청각장애의 판정시 주파수 별로 객관적인 청각자료를 제공함으로써 진단서의 작성 및 장애 평가에 유용한 도움이 될 수 있다.

여러 연구에서 청성안정유발반응검사와 순음청력검사의 평균역치의 차이가 0에서 10 dB 사이에서 기록되었고 난청 정도가 고도에서 고심도로 갈수록 높은 상관 계수를 보이는 것으로 보고하였다.<sup>19)20)</sup> 본 연구에서 순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 6분법으로 구한 평균 청력역치의 상관계수(r)는 0.96로 상당히 높은 것을 알 수 있으며 이를 이용하여 청성안정유발반응검사에서 얻은 평균 청력역치를 이용하여 순음청력검사의 역치를 유추할 수 있다. 반면 순음청력검사 결과를 기준으로 정상 청력, 중등도 난청, 고도 난청으로 분류한 경우 중, 고도 난청의 상관계수가 각각 0.72, 0.81인데 반하여 정상 청력의 경우 0.62로 매우 낮음을 보여 청성안정유발반응검사가 정상 청력을 가진 사람에서의 활용도는 그다지 높지 않음을 알 수 있었다.

주파수별 청력역치의 비교에 있어서는 Lins 등<sup>17)</sup>은 청성안정유발반응검사에서 500 Hz의 민감도에 주의를 필요로 한다고 주장하였고 이는 저주파수 자극반응이 고주파수에 비해 역치 측정에 상대적으로 어려움을 유발할 수 있는 신경적 비동시성으로 인한 내부적인 흔들림(jitter) 때문인 것으로 생각하였다. 또한 Aoyagi 등<sup>21)</sup>은 80 Hz의 높은 변조 주파수(modulation frequency, MF)를 사용하여 500, 1,000, 2,000, 4,000 Hz에서 각각 0.73, 0.86, 0.88, 0.92의 상관계수를 보고하였으며 Lins 등<sup>20)</sup>은 70~110 Hz의 변조 주파수를 사용하여 0.72, 0.70, 0.76, 0.91의 상관계수를 보고하였다. 본 연구에서는 주파수 별로 각각 0.89, 0.91, 0.89, 0.85의 상관계수를 보여 1,000 Hz에서 상대적으로 높은 상관계수를 보였으나 500 Hz에서도 다른 주파수와 유사한 상관계수를 보임을 알 수 있었으며 이는 변조 주파수의 적절한 사용이 보다 순음청력검사의 결과에 근접한

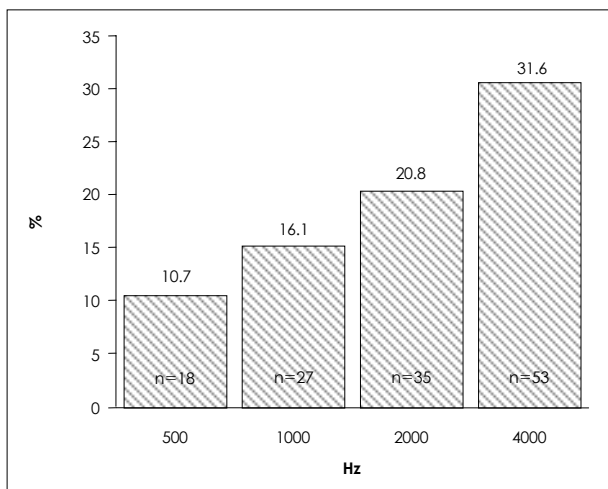


Fig. 3. The proportions of cases of which hearing threshold couldn't be calculated from either pure tone audiometry or auditory steady state response. The proportions increased from 10.7% to 31.6% as the frequency rose.

결과에 접근할 수 있음을 시사한다고 생각할 수 있다.

본 연구에서 두 검사 모두 전주파수에 걸쳐서 반응이 나타나지 않은 7명(8귀)을 제외한 168귀의 주파수별 청력역치의 분석에서 순음청력검사 혹은 청성안정유발반응검사 중 어느 한 검사에서 청력역치를 구할 수 없었던 경우는 대부분 90 dB 이상의 고도 난청의 경우였으며 주파수 별로 500 Hz에서 18귀(10.7%), 1,000 Hz에서 27귀(16.1%), 2,000 Hz에서 35귀(20.8%), 그리고 4,000 Hz에서 53귀(31.6%)로 고주파수 영역으로 갈수록 두 검사 간의 불일치율이 높아짐을 알 수 있었으며 이는 순음청력검사의 주파수별 장비 한계가 120 dBHL인데 반해 청성안정유발반응검사의 주파수별 장비 한계가 110~115 dBHL로 차이가 나고 청성안정유발반응검사의 역치가 고주파수에서의 역치를 저측정하거나 잘못된 측정 결과를 보일 수 있기 때문인 것으로 생각한다. 임상적으로는 두 검사 간의 불일치가 일어나는 경우에도 나머지 검사 결과로 고심도 난청으로 진단받아 인공와우 이식술을 제안 받게 되므로 큰 지장은 없다 해도 고심도의 역치를 보이는 청성안정유발반응검사 결과가 인공와우를 이식 받거나 중폭정도를 조절하는 등, 재활에 필요한 말초성 난청에 대한 정보를 제공하지 않으므로 근래에는 주의를 필요로 한다는 보고가 있다.<sup>11)</sup>

## 결 론

순음청력검사와 청성안정유발반응검사의 6분법으로 구한 평균 청력역치의 난청의 정도 및 각 주파수별 청력역치의 상관계수는 비교적 높게 나타났으며 이는 청성안정유발반응검사가 여러 가지 이유로 순음청력검사 및 행동관찰 청력검사 등이 어렵거나 협조가 되지 않는 유소아 및 청각장애진단을 받고자 하는 환자들의 객관적인 주파수 별 청력 측정 보청기 등의 처방에 매우 중요한 청각적 자료를 제공하는 진단적 도구임을 알 수 있다.

중심 단어 : 청성안정유발반응검사 · 순음청력검사 · 청력역치 · 상관관계.

## REFERENCES

- 1) Yoshinaga-Itano C, Sedey AL, Coulter DK, Mehl AL. *Language of early- and later-identified children with hearing loss. Pediatrics* 1998; 102:1161-71.
- 2) Rance G, Briggs RJ. *Assessment of hearing in infants with moderate to profound impairment: The Melbourne experience with auditory steady-state evoked potential testing. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2002;189:22-8.
- 3) Galambos R, Wilson MJ, Silva PD. *Identifying hearing loss in the intensive care nursery: A 20-year summary. J Am Acad Audiol* 1994; 5:151-62.
- 4) Sininger YS, Abdala C. *Hearing threshold as measured by auditory brain stem response in human neonates. Ear Hear* 1996;17:395-401.
- 5) Sininger YS, Cone-Wesson B, Folsom RC, Gorga MP, Vohr BR, Widen JE, et al. *Identification of neonatal hearing impairment: Auditory brain stem responses in the perinatal period. Ear Hear* 2000;21: 383-99.
- 6) Stevens J. *State of the art neonatal hearing screening with auditory brainstem response. Scand Audiol Suppl* 2001; (52):10-2.
- 7) Eggermont JJ. *The inadequacy of click-evoked auditory brainstem responses in audiological applications. Ann N Y Acad Sci* 1982;388: 707-9.
- 8) Brookhouser PE, Gorga MP, Kelly WJ. *Auditory brainstem response results as predictors of behavioral auditory thresholds in severe and profound hearing impairment. Laryngoscope* 1990;100:803-10.
- 9) Stapells DR, Picton TW, Durieux-Smith A, Edwards CG, Moran LM. *Thresholds for short-latency auditory-evoked potentials to tones in notched noise in normal-hearing and hearing-impaired subjects. Audiology* 1990;29:262-74.
- 10) Stueve MP, O'Rourke C. *Estimation of hearing loss in children: Comparison of auditory steady-state response, auditory brainstem response, and behavioral test methods. Am J Audiol* 2003;12:125-36.
- 11) Gorga MP, Neely ST, Hoover BM, Dierking DM, Beauchaine KL, Manning C. *Determining the upper limits of stimulation for auditory steady-state response measurements. Ear Hear* 2004;25:302-7.
- 12) Galambos R, Makeig S, Talmachoff PJ. *A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. Proc Natl Acad Sci U S A* 1981;78: 2643-7.
- 13) Linden RD, Campbell KB, Hamel G, Picton TW. *Human auditory steady state evoked potentials during sleep. Ear Hear* 1985;6:167-74.
- 14) Cohen LT, Rickards FW, Clark GM. *A comparison of steady-state evoked potentials to modulated tones in awake and sleeping humans. J Acoust Soc Am* 1991;90:2467-79.
- 15) Stapells DR, Galambos R, Costello JA, Makeig S. *Inconsistency of auditory middle latency and steady-state responses in infants. Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988;71:289-95.
- 16) John MS, Lins OG, Boucher BL, Picton TW. *Multiple auditory steady-state responses (MASTER): Stimulus and recording parameters. Audiology* 1998;37:59-82.
- 17) Lins OG, Picton TW. *Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;96: 420-32.
- 18) Aoyagi M, Kiren T, Furuse H, Fuse T, Suzuki Y, Yokota M, et al. *Effects of aging on amplitude-modulation following response. Acta Otolaryngol Suppl* 1994;511:15-22.
- 19) Rance G, Rickards FW, Cohen LT, De Vidi S, Clark GM. *The automated prediction of hearing thresholds in sleeping subjects using auditory steady-state evoked potentials. Ear Hear* 1995;16:499-507.
- 20) Lins OG, Picton TW, Boucher BL, Durieux-Smith A, Champagne SC, Moran LM, et al. *Frequency-specific audiometry using steady-state responses. Ear Hear* 1996;17:81-96.
- 21) Aoyagi M, Suzuki Y, Yokota M, Furuse H, Watanabe T, Ito T. *Reliability of 80-Hz amplitude-modulation-following response detected by phase coherence. Audiol Neurootol* 1999;4:28-37.